

PITEAU ASSOCIATES SOUTH AFR
GEOTECHNICAL AND
HYDROGEOLOGICAL CONSUL

25 RUDD ROAD,
GAUTE

Mail: mwilliams@piteau.com

PASA file: 4099TM06v0

Julio 12th, 2021

MEMORANDO TECNICO

RE: Estrategia de gestión de las reservas de Botija

Atención: Wynand Bender, Antti Sjoblom; Minera Panama S.A.

1. INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

Este memorando técnico ha sido preparado por Piteau Associates (Piteau) en nombre de Minera Panamá S.A. (MPSA) en apoyo al diseño e implementación de una estrategia optimizada para el acopio de mineral de baja y media ley (LGO/MGO) durante el período de explotación del tajo Botija en Cobre Panamá. Se pretende que los principios básicos de diseño establecidos para la gestión de los acopios en el sector de Botija sean aplicables a las futuras operaciones en las áreas de los tajos Colina y Valle Grande

Cuando se inició el procesamiento de minerales en Cobre Panamá en 2017, se contempló que el acopio de mineral sólo sería necesario durante los primeros dos o tres años de operaciones, después de lo cual se previó que el procesamiento se llevaría a cabo de una manera ampliamente proporcional a la producción de mineral de la mina. Esta hipótesis se ha modificado en el actual plan de negocio quinquenal de MPSA. Ahora se espera que un inventario de LGO más "residuos mineralizados" (anteriormente clasificados como ultra-LGO) de hasta unos 80 Mt requiera almacenamiento en el sector de Botija del emplazamiento. Es probable que estos residuos permanezcan en las zonas de acopio seleccionadas durante la mayor parte de la vida de la mina y que se extraigan en los últimos años de las operaciones sólo si la economía es lo suficientemente favorable para su procesamiento. Dada la bajísima ley de Cu de gran parte del material almacenado y el potencial de pérdidas de Cu por lixiviación durante el almacenamiento, es muy posible que el LGO almacenado se deje in situ al cierre de la mina.

El acopio se llevó a cabo de forma temporal en múltiples ubicaciones en las inmediaciones del pozo Botija durante el período 2017 a 2019. Se observó que la calidad del agua aguas abajo de las áreas de acopio durante este período fue afectada, con un pH deprimido acompañado de concentraciones esporádicamente altas de Cu, Al y otros metales (como se informó en la Revisión de Riesgo ARD de Piteau 2019, 3936TM09, 2019). Ahora MPSA reconoce que las áreas de acopio a largo plazo requerirán un nivel adecuado de diseño y control operativo para garantizar que el sistema de gestión de aguas de contacto de la mina pueda evitar cualquier riesgo de descarga no conforme del sitio

1.2 Objetivos

En Diciembre del 2020, Piteau elaboró un plan de trabajo para desarrollar una estrategia de acopio para la fase de minería de Botija que cumpliera los requisitos del plan de negocio de MPSA y garantizara al mismo tiempo la mitigación de los riesgos para la calidad del agua en la cuenca de Botija. En el plan se contempla que la mitigación de los impactos puede lograrse mediante múltiples intervenciones aplicadas conjuntamente. Éstas comprenden:

a) Selección de la ubicación adecuada de los acopios..
b) Adopción de una cimentación y un sistema de subdrenaje adecuados
c) Sistemas robustos de recogida de agua de contacto
d) Aislamiento eficaz del agua sin contacto.
e) Rehabilitación progresiva en la mayor medida posible.
f) Rehabilitación "final" adecuada.

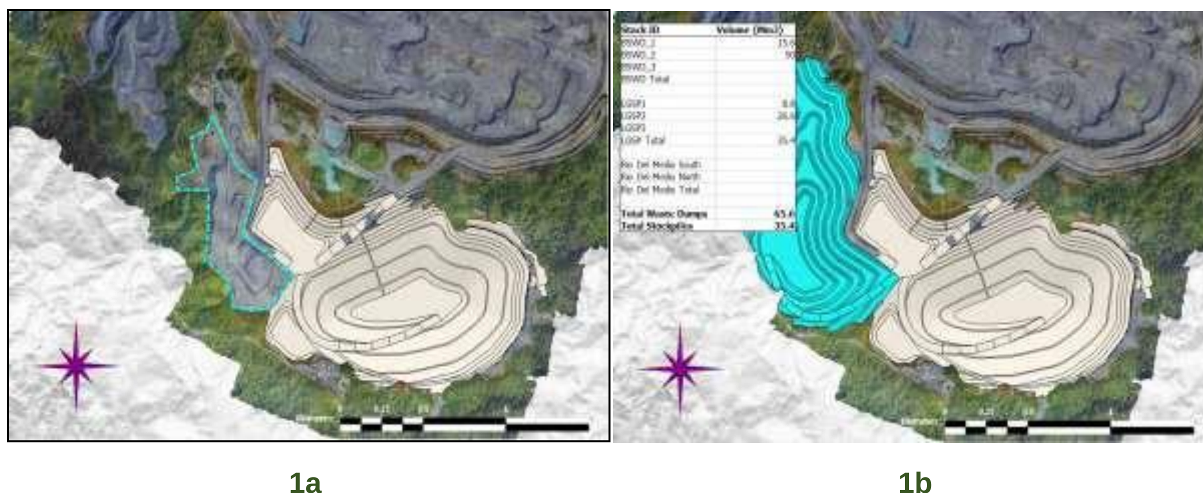
Este memorando describe las evaluaciones realizadas hasta la fecha por Piteau, en colaboración con el Departamento de Minas de MPSA, sobre las alternativas de ubicación de las pilas, los posibles requisitos del sistema de gestión de las aguas de contacto y los conceptos de rehabilitación de las instalaciones.

2. ALTERNATIVAS DE UBICACIÓN DE LAS PILAS

2.1 Localización de las pilas actuales – diseño y evaluación de riesgo.

En el primer trimestre de 2021, MPSA, en colaboración con Piteau, llevó a cabo una evaluación de alto nivel de las alternativas de ubicación de las reservas en el contexto de los requisitos del programa de producción minera de 5 años de MPSA. El caso base considerado al inicio del análisis implicaba el desarrollo continuado durante el periodo de operaciones del pozo Botija de la pila existente de LGO. Esta está situada al oeste del WRD como se muestra en la Figura 1a. En la actualidad, la pila contiene unos 9 Mm3. El Departamento de Minas de MPSA ha elaborado un diseño para la ampliación de la pila que, si se desarrolla hasta la cota de 310 mRL (véase la figura 1b), tendría una capacidad final de 35,4 Mm3. Esto equivale al tonelaje total de LGO destinado al acopio desde Botija.

Figura 1a: Huella actual (primer trimestre de 2021) del acopio de LGO de Botija (polígono azul discontinuo). 1b: Diseño final para el acopio de LGO de Botija hasta la cota de 310 mRL. La huella actual del LGO de Botija se muestra en ambas imágenes.



1a **1b**

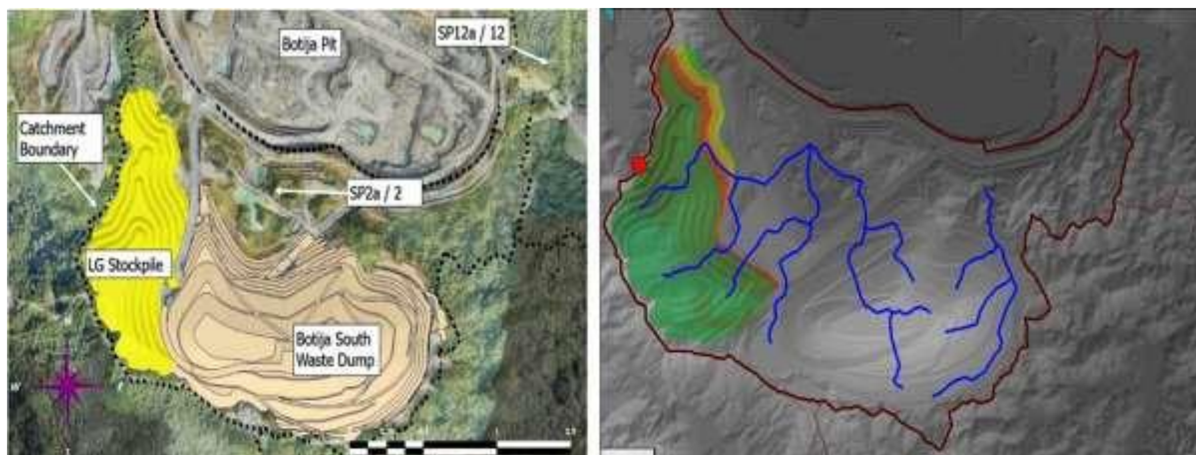
Como se indica en la Figura 1b, el diseño propuesto de la pila de almacenamiento implicaría la expansión de la huella tanto hacia el norte (hacia el pozo de Botija) como hacia el oeste (para colindar con la divisoria de la cuenca con el Río del Medio) en relación con la ocupada actualmente. El desarrollo continuado del depósito de Botija de esta manera ofrece ventajas significativas para MPSA, incluyendo una corta distancia de transporte desde el pozo y la evitación de conflictos por el área de tierra en la cuenca adyacente del Río del Medio, en la que se va a llevar a cabo un importante desarrollo de la infraestructura para la fase de minería de Colina en los próximos dos años.

El principal reto asociado a la implementación del diseño de las pilas de almacenamiento que se muestra en la Figura 1b está relacionado con la gestión del agua de contacto. Desde el comienzo del desarrollo del WRD de Botija, se ha desplegado un sistema de recolección de agua de contacto que incluye una serie de drenajes subterráneos construidos utilizando escollera gruesa competente a lo largo de las líneas de drenaje natural dentro de la huella del vertedero. Estos conducen la filtración basal hacia un punto de recogida, el estanque 2/2a (véase la figura 2). Desde el estanque 2a, el agua puede ser bombeada al estanque E o al tanque de proceso. En caso de que se supere la capacidad de bombeo del estanque 2a, el agua se descarga en el estanque 12a, donde se ha instalado un segundo sistema de bombeo para transportar el agua al tanque de proceso. Cualquier desbordamiento del estanque 12a va a parar al estanque 12, que, en caso de superación de la capacidad, vierte al río Botija. Este vertido no está previsto en la licencia de explotación de MPSA y, por lo tanto, debe evitarse en cualquier caso, salvo en condiciones excepcionales.

Durante el período 2019 a 2021, MPSA ha observado una degradación significativa de la calidad del agua en el estanque 2a. La importancia de esto con respecto al riesgo de incumplimiento del emplazamiento se ve agravada por la tendencia del estanque 2a a derramarse en respuesta a eventos de precipitación de más de unos 100 mm en 24 horas (transfiriendo así agua de bajo pH y alto contenido de Cu al sistema de los estanques 12a y 12). El grado de deterioro de la calidad del agua en el Estanque 2a es un reflejo de un vertido

de albero mal controlado o, alternativamente, de una filtración desde el LGO, no ha sido plenamente confirmado hasta la fecha. La resolución de esta incertidumbre es importante para la evaluación de los riesgos que pueden estar asociados con la continua expansión de las reservas de Botija.

Figura 2: Sistema de gestión del agua del WRD de Botija (y de las reservas)



Para abordar la incertidumbre mencionada, se aplicó el modelo acoplado de equilibrio físico del agua y de carga de masa química desarrollado previamente por Piteau para el emplazamiento de Cobre Panamá utilizando GoldSim para simular la calidad del agua del sistema del estanque 2a-12a-12 bajo una serie de escenarios futuros:

- Escenario 1: - Caso base - No hay mineral almacenado. Toda la roca madre se coloca en celdas dedicadas con una eficiencia del 90% en términos de flujo de H+ y metales.
- Escenario 2 – No hay mineral almacenado. Sin control de la colocación de la roca madre (con lo que la roca madre contribuye a la acidez y a los metales a las tasas registradas en las pruebas cinéticas de campo para este material).
- Escenario 3 – Gestión de la zahorra en el caso base, pero con la ampliación de las reservas de Botija hasta un volumen almacenado de 28 Mm3 en 2024.

Los resultados de la modelización realizada para el periodo de operaciones hasta finales de 2024 se presentan en la figura 3 con respecto al Cu en el estanque 2a. Los datos de cobre se presentan porque podría decirse que este es el contaminante de primer orden que preocupa al sistema de gestión del agua de contacto de Botija. Sin embargo, las tendencias generales mostradas por el Cu se reflejan en otros metales, incluyendo el Al y el Mn, en los resultados del modelo para los escenarios alternativos considerados.

Los resultados del modelo del Escenario 1 indican que en ausencia de cualquier mineral acopiado, y bajo condiciones de aislamiento juicioso de la roca madre en el WRD de Botija, las concentraciones de Cu se mantendrían en el rango de menos de 1 mg/L durante todo el período de simulación. En condiciones de nulo control de la colocación de la roca madre (Escenario 2), las concentraciones de Cu podrían alcanzar alrededor de 5 mg/L en el percentil 50 en 2024. Sin embargo, el modelo indica que este aumento de la concentración de Cu es de una magnitud significativamente menor que el que provocaría el desarrollo de las reservas de LGO (Escenario 3), para el que se prevén concentraciones en el percentil 50 cercanas a los 20 mg/L en 2024.

Los resultados de las simulaciones de calidad del agua de GoldSim para los tres escenarios alternativos considerados se muestran en la Figura 4 con respecto a las concentraciones de Cu en el estanque 12. La simulación para el Escenario 3, en el que se supone que las reservas siguen desarrollándose hasta alcanzar los 28 Mm3 a finales de 2024,

indica un riesgo significativo de presencia de Cu en el estanque 12 en niveles que superan el límite nacional de 1 mg/L establecido por ley para cualquier vertido al medio ambiente. Este no es el caso de otros escenarios

Figura 3: Simulación del modelo GoldSim de las concentraciones de cobre en el agua del Estanque 2a durante el período 2021 a 2024 bajo escenarios alternativos para la colocación de la zahorra del WRD de Botija y el desarrollo de la pila del LGO.

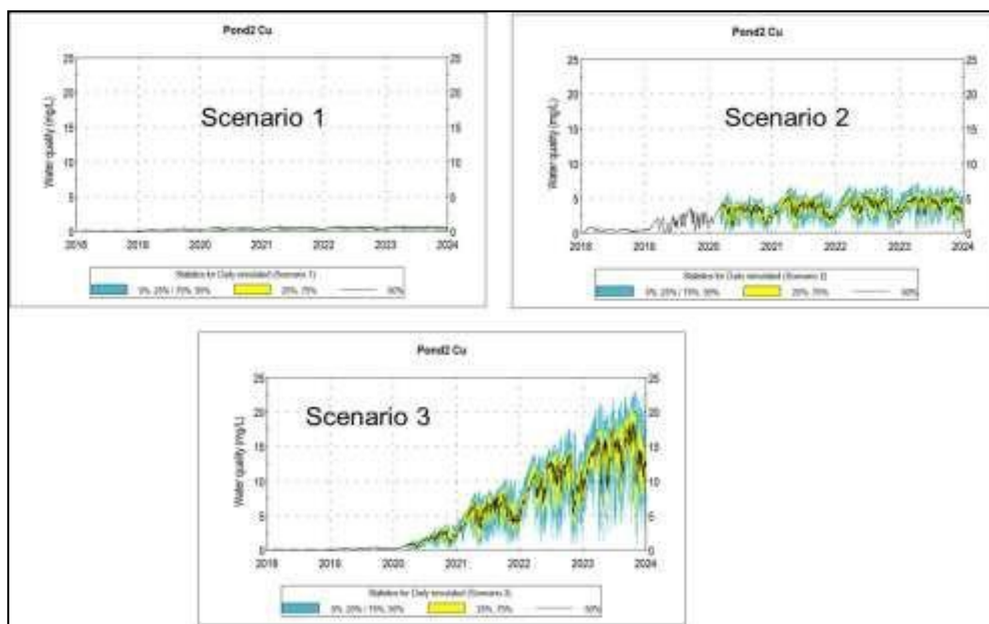
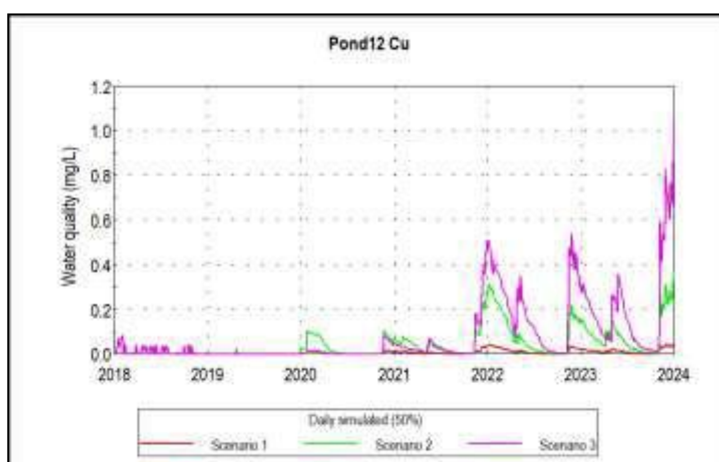


Figura 4: Simulación con el modelo GoldSim de las concentraciones de cobre en el agua del estanque 2a durante el período 2021-2024 bajo escenarios alternativos para la colocación de zahorra del WRD de Botija y el desarrollo de las reservas del LGO.



2.2 Opciones de mitigación de riesgos para la ubicación actual de las reservas.

La principal conclusión extraída de los resultados de las simulaciones del modelo GoldSim es que la continuación del desarrollo de la pila de almacenamiento de Botija, como se muestra en la Figura 1b, debe considerarse condicionada a la mejora del control de la fuente de filtración de mala calidad de la instalación o a la modificación sustancial del sistema de recogida de agua de contacto. Piteau ha realizado un cribado de las intervenciones que

podrían cumplir estos requisitos, en base a los cuales se proponen los siguientes componentes básicos de una futura estrategia de diseño y gestión operativa de las reservas:

a) Medidas de control de la fuente para reducir la infiltración de agua en la superficie de la pila y la consiguiente generación de filtración basal.
b) Desviación de la escorrentía de la pila fuera del sistema del estanque 2a-12a-12, o bien dimensionamiento del estanque 2a para permitir el aislamiento efectivo del WRD y del agua de contacto de la pila de los estanques 12a y 12.

Las medidas de control de la fuente propuestas incluyen la rehabilitación progresiva y final de la pila de manera que pueda reducir la filtración basal, como se detalla en la sección 4 (más adelante). Estas medidas se aplicarían junto con una estrategia adecuada para dirigir la escorrentía de la pila a un punto de recogida designado. Para ello se han evaluado dos alternativas principales, que se resumen en el cuadro 1. Éstas comprenden (i) el re-perfilamiento de la morfología de la pila de almacenamiento de manera que el contacto pueda ser conducido hacia el oeste a través del interfluvio de captación con la cuenca del Río del Medio y (ii) el mantenimiento de la vía de drenaje existente para el agua de contacto hacia el estanque 2/2a con un aumento de la capacidad de almacenamiento y bombeo para aislar efectivamente dicha agua de los estanques 12a y 12. En esta última opción, el agua se bombearía desde el estanque 2a directamente a la TMF o al estanque E.

El resultado del análisis de alternativas resumido en la Tabla 1 es que la continuación de la explotación de la reserva de Botija existente parece más factible en un escenario en el que se mantiene el sistema de recogida de agua de contacto existente junto con la ampliación de la capacidad de almacenamiento y bombeo en el estanque 2/2a. Sin embargo, esto debería ir acompañado de un mayor esfuerzo para reducir la infiltración superficial. Aunque tanto los impermeables sintéticos como los medios de cobertura naturales podrían servir prospectivamente para este propósito, los primeros se consideran menos favorables debido a su coste y al riesgo de pérdida de integridad.

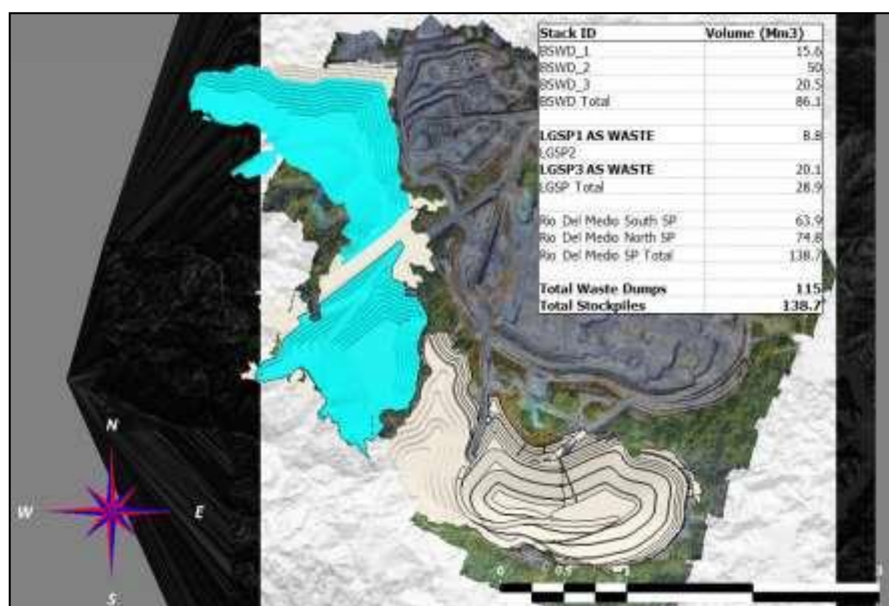
Tabla 1: Resumen de la selección de la mitigación del riesgo de la calidad del agua para el actual depósito de Botija

Escenario	Opcion	Pro's	Con's	Preferida
0	**Hacer nada**	Bajo costo	Almost certain discharge from Pond 12 will occur, with quality failing to meet compliance criteria	No
1	1) Desviación de la escorrentía hacia la cuenca del Medio. 2) Recuperación progresiva de la superficie de la pila con una cubierta temporal de saprolita de 1 m.	Costo moderado. Elimina una parte de la zona de acopio de los informes a la cuenca de Botija.	La mayor parte de la zona de acopio continuará informando a los estanques 2a/2 (y, en última instancia, al estanque 12), incluidas las filtraciones.	No
2	1) Expanir estanque 2/2a. 2) Aumentar la velocidad de bombeo al estanque E o al TMF 3) Recuperación progresiva con 1 m de cubierta temporal de saprolita.	Costo moderado. Proporciona una reducción significativa del riesgo de vertido no conforme de la balsa 12	Costo Moderado.	Si
3	1) Como en los escenarios 1 y/o 2 pero utilizando impermeables sintéticos para el control de la infiltración temporal			No

2.3 Ubicaciones alternativas de las Reservas

En el primer trimestre de 2021, se realizó una evaluación de las posibles opciones de sustitución del actual depósito de Botija por una o más instalaciones en ubicaciones alternativas. Estas opciones incluían una serie de escenarios para el almacén existente, entre los que se encontraban (a) la retirada para su procesamiento, (b) la reubicación en un nuevo emplazamiento o (c) la rehabilitación sin una mayor expansión de la huella. Junto con cualquiera de estas opciones, el almacenamiento del LGO de Botija comenzaría en uno o más lugares de la cuenca del Río del Medio, como se ilustra en la Figura 5.

Figura 5: Áreas de la huella y diseños provisionales para los acopios de Río del Medio Sur y Norte



Stack ID	Volume (Mm3)
BSWD_1	15.6
BSWD_2	50
BSWD_3	20.5
BSWD Total	86.1
LGSP1 AS WASTE	8.8
LGSP2	
LGSP3 AS WASTE	20.1
LGSP Total	28.9
Rio Del Medio South SP	63.9
Rio Del Medio North SP	74.8
Rio Del Medio SP Total	138.7
Total Waste Dumps	**115**
Total Stockpiles	**138.7**

Mientras que las opciones de Río del Medio Sur y, en menor medida, Río del Medio Norte ofrecen una distancia de transporte viable, la primera de estas áreas estará sujeta durante los próximos 1 a 2 años a la colocación de roca estéril hasta una elevación correspondiente a la requerida para la finalización del corredor de acceso a Colina. La colocación de LGO en esta huella esterilizaría efectivamente el inventario debajo de la infraestructura del corredor. En la evaluación de selección se concluyó que Río del Medio Norte no era adecuado para recibir el LGO de Botija, ya que esto restringiría significativamente la flexibilidad de MPSA para segregar material de grado bajo y medio. La conclusión del análisis de ubicaciones alternativas para el acopio de Botija LGO fue, por tanto, que el uso continuado de la zona de acopio existente, con la modificación adecuada de los principios operativos y la gestión del agua de contacto, ofrece la mayor flexibilidad para la mina.

3. FILOSOFÍA ACTUAL DE DISEÑO DE LAS PILAS DE ALMACENAMIENTO DE BOTIJA.

3.1 Evolución del Diseño.

El primer diseño del WRD de Botija se elaboró en 2010 para su inclusión en el EIA de Cobre Panamá. En él se preveía la colocación de acopios sobre la roca estéril en el sector occidental de la huella. En 2016 se elaboró un concepto de diseño actualizado (denominado

Diseño Corporativo), como se muestra en la Figura 6. Esto maximizó el WRD disponible y la capacidad de almacenamiento de los acopios acercando la punta norte al perímetro del pozo tanto como sea posible. Este cambio se acompañó de un concepto mejorado de control de sedimentos que incluía la subdivisión del estanque 2 en dos compartimentos. También se rediseñaron las rampas de acceso para abrir la opción de instalar carros de asistencia.

En 2021, se ha llevado a cabo un rediseño del DAR de Botija específicamente para acomodar el almacenamiento de LGO, como se muestra en la Figura 2 (arriba). Sin embargo, los parámetros de diseño para este rediseño no han cambiado con respecto a los aplicados en 2016, como se resume en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros de diseño del vertedero y del acopio

Parameter	Value & UoM	Explanation
Slope Face Angle	1 : 2.5	1:2.5 was considered operationally achievable and there are slopes on the dump to support this. This results as more capacity than 1:3 slope face angle.
Lift Height	40m	40m was chosen based on the hydroseeding machinery at site. Effective pumping range is 20m down and 15 meters up. It is considered that a flitch of 20m can be rehabilitated from above and below and the second 20m flitch can be sprayed from above.
Berm Width	8m	5m allowance for the hydroseeding truck (truck 2.5m wide), 3m reserved for a drainage channel. Drainage channel is considered temporary. Berm is considered necessary to be able to catch and divert drainage water from the bench to the channel as long as hydroseed roots in sufficiently
Saprolite Thickness	1m	As per the Commitment #13251 EsIA Category III MPSA, saprolite thickness in the final waste dump surface should be 3m. It has been argued that this thickness both is not practical to put in place and neither necessary. 1m layer is adopted as operationally achievable and based on successfully rehabilitated slopes on the lower parts of BSWD. It is also recommended for the temporary cover on the stockpile.
Ramp Width	45m	Assumed ramp without one-lane trolley.
Ramp Curve Inside Radius	250m	Agree with operations as the minimum operationally feasible turning radius
Drainage Ramp Width	15m	Drainage ramp on the final surface of the dump. Allowance for a water channel, 740 traffic and a safety berm. Channel width to be confirmed based on models.
Drainage Ramp Inclination	Less than 20%	Observed maximum inclination without spilling material from dump body. Maximum slope need to be confirmed with hydrology.
Operational Parameters		
Slope Face Angle	37°	Field observation, agreed with geotech.
Lift Height - Saprolite, Saprock	10m	There are several occurrences of lift toe failing when water is added with lift heights greater than 10m.
Lift Height - Fresh Waste	10m - 20m	20m operationally achievable (observed in the field). Designs will have 10m markers on them in case of situations where 10m - 20m is temporary required.
Berm Width – Saprolite	15.73m	10m lift height
Berm Width - Fresh Waste	27.46m	20m lift height

3.2. Condiciones de cimentación y subdrenaje.

La preparación de la cimentación del actual WRD de Botija consistió en el arranque y la tala de árboles, dejando en su lugar los restos de vegetación y la cubierta del suelo. Se colocaron drenajes en todos los desagües y se completaron de la siguiente manera:

- Se colocaron grandes rocas competentes hasta un mínimo de la anchura del canal.

- La roca se envolvió con geotextil no tejido antes de comenzar la colocación del vertedero.

Todos los desagües dan al Norte. En la actualidad parecen estar funcionando según lo

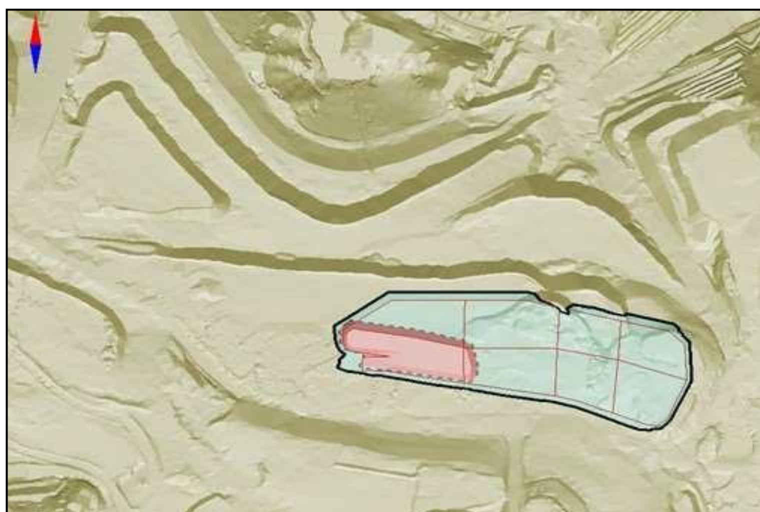
previsto

3.3. Colocación del Saprock

Schlumberger (2016) recomendó el aislamiento de saprock de todas las unidades de residuos competentes colocadas en la escombrera de Botija como conclusión de una evaluación de riesgos geoquímicos realizada para Cobre Panamá antes de la puesta en marcha de la mina. En 2018, Piteau desarrolló una filosofía de diseño y operación para la colocación de saprock en celdas dedicadas dentro de la huella del WRD. Este sigue siendo el modo aprobado de gestión de la zahorra actualmente. La adhesión a este procedimiento es fundamental para el control del drenaje de roca ácida (ARD) para la instalación, ya que la zahorra es una fuente de acidez rápidamente movilizada en la exposición a la atmósfera y también actúa como un catalizador para la oxidación de sulfuros en litologías de roca de desecho competentes que de otro modo serían más lentamente reactivas.

Piteau ha revisado la secuencia propuesta de celdas de roca madre que se utilizarán hasta finales de 2021 (Figura 6). Esto debería cumplir con los requisitos de rendimiento de control de ARD previstos. Las celdas propuestas están situadas lejos de las zonas de los pies del vertedero y parecen estar configuradas de manera que no sean complejas desde el punto de vista operativo. Sin embargo, el éxito de las celdas en el control del ARD dependerá en gran medida de que las celdas individuales se llenen y sellen con relativa rapidez (máximo 2 meses)

Figura 6: Secuencia de colocación de las celdas de Saprock propuesta para 2021.



3.4 Gestión del Agua de Contacto

La estrategia actual de gestión del agua para el DAR de Botija implica la incorporación de conceptos de mejores prácticas desarrollados en otras minas en entornos similares. Estos conceptos incluyen:

- Desarrollo de taludes finales en cada ascensor como prioridad.
- Recuperación del talud final del ascensor y del banco intermedio lo antes posible tras el establecimiento del talud final (preferiblemente en el plazo de un año).
- Construcción e instalación de drenajes en el centro de la mina y de cualquier estructura de caída necesaria, al mismo tiempo que la recuperación.
- Después de la recuperación, dirigir la escorrentía de las superficies rehabilitadas lejos del sistema de recogida de aguas de contacto,
- Desplazamiento del agua de todas las superficies no saneadas hacia los estanques 2/2a.

Estos principios de gestión siguen siendo válidos y se recomienda su adopción durante el período de desarrollo de las reservas de Botija.

4. PROPUESTA DE MODIFICACIONES DE DISEÑO PARA EL DESARROLLO DE LAS RESERVAS DE BOTIJA.

4.1. Resumen

Piteau ha llevado a cabo una evaluación de las modificaciones de diseño y operativas que deberían adoptarse para garantizar una protección eficaz de la calidad del agua en un escenario en el que la actual reserva de Botija siga utilizándose para el almacenamiento de LGO durante el plan de negocio de 5 años de MPSA. Estas modificaciones se dividen en tres categorías principales:

1) Preparación de los cimientos y captura de las filtraciones.
2) Diseño del sistema de gestión del agua de contacto
3) Rehabilitación progresiva

4.2. Preparación de la cimentación y captación de filtraciones

Aunque existen pocas posibilidades de mejorar la eficacia de la captación de filtraciones en la zona de la huella de Botija que ya ha sido objeto de colocación de rocas, está prevista una importante ampliación de la instalación hacia el norte durante el período 2021-2024 que implicará la deposición de LGO en terrenos actualmente abiertos. Existe la oportunidad de asegurar la preparación óptima del terreno y la colocación del sistema de drenaje en este sector de la instalación.

Existen pocos datos que indiquen el estado natural de las aguas subterráneas antes de la explotación o en la huella de la escombrera y el acopio de Botija. Sin embargo, el flujo de aguas subterráneas será predominantemente hacia el norte. La monitorización en el límite sur de la fosa de Botija indica que la tasa de flujo responde a la deshidratación del vacío de la fosa. Debido a que el pozo crea efectivamente un sumidero hidráulico, se espera que el flujo debajo de la pila sea atraído cada vez más hacia el norte. Esto facilita la interceptación de las

filtraciones mediante un sistema de drenaje de dedos o de drenaje inferior que desemboca en un sistema de recogida lateral orientado en paralelo al borde sur del pozo. La figura 7 muestra las ubicaciones actuales de los drenajes. Este sistema debería complementarse bajo el sector norte de la huella del acopio mediante drenajes construidos con una metodología análoga a la descrita en la sección 3, pero con una capa protectora adicional de roca triturada sobre el geotextil para evitar el taponamiento y/o el daño excesivo al colocar el LGO.

Una consideración importante en la captación de las filtraciones de las pilas es la forma en que el agua transportada a través de los desagües inferiores se intercepta a lo largo del extremo norte de la instalación. Se recomienda la construcción de un sistema de recogida por tuberías y de un dique de pozos húmedos para que las filtraciones puedan dirigirse a un punto de almacenamiento preferente. Tras las conversaciones mantenidas con MPSA, se ha acordado que esta ubicación podría estar al oeste de la pila de almacenamiento, como se muestra en la figura 7. Esto se corresponde con la ubicación del estanque de Tequilla. En la figura 8 se muestra una foto de la construcción de dicho dique. La figura 9 muestra un esquema de un típico dique de pozo húmedo de la naturaleza recomendada para su uso.

Una consideración importante en la captación de las filtraciones de las pilas es la forma en que el agua transportada a través de los desagües inferiores se intercepta a lo largo del extremo norte de la instalación. Se recomienda la construcción de un sistema de recogida por tuberías y de un dique de pozos húmedos para que las filtraciones puedan dirigirse a un punto de almacenamiento preferente. Tras las conversaciones mantenidas con MPSA, se ha acordado que esta ubicación podría estar al oeste de la pila de almacenamiento, como se muestra en la figura 7. Esto se corresponde con la ubicación del estanque de Tequilla. En la figura 8 se muestra una foto de la construcción de dicho dique. La figura 9 muestra un esquema de un típico dique de pozo húmedo de la naturaleza recomendada para su uso.

Figura 7: Ubicaciones de los desagües con la configuración de acopio y vertido prevista, mostrando la ubicación del sistema de recogida de diques de pozos húmedos propuesto.

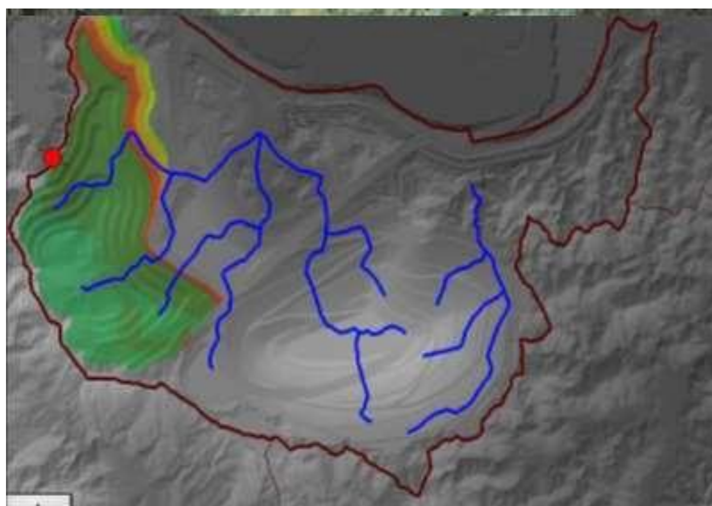
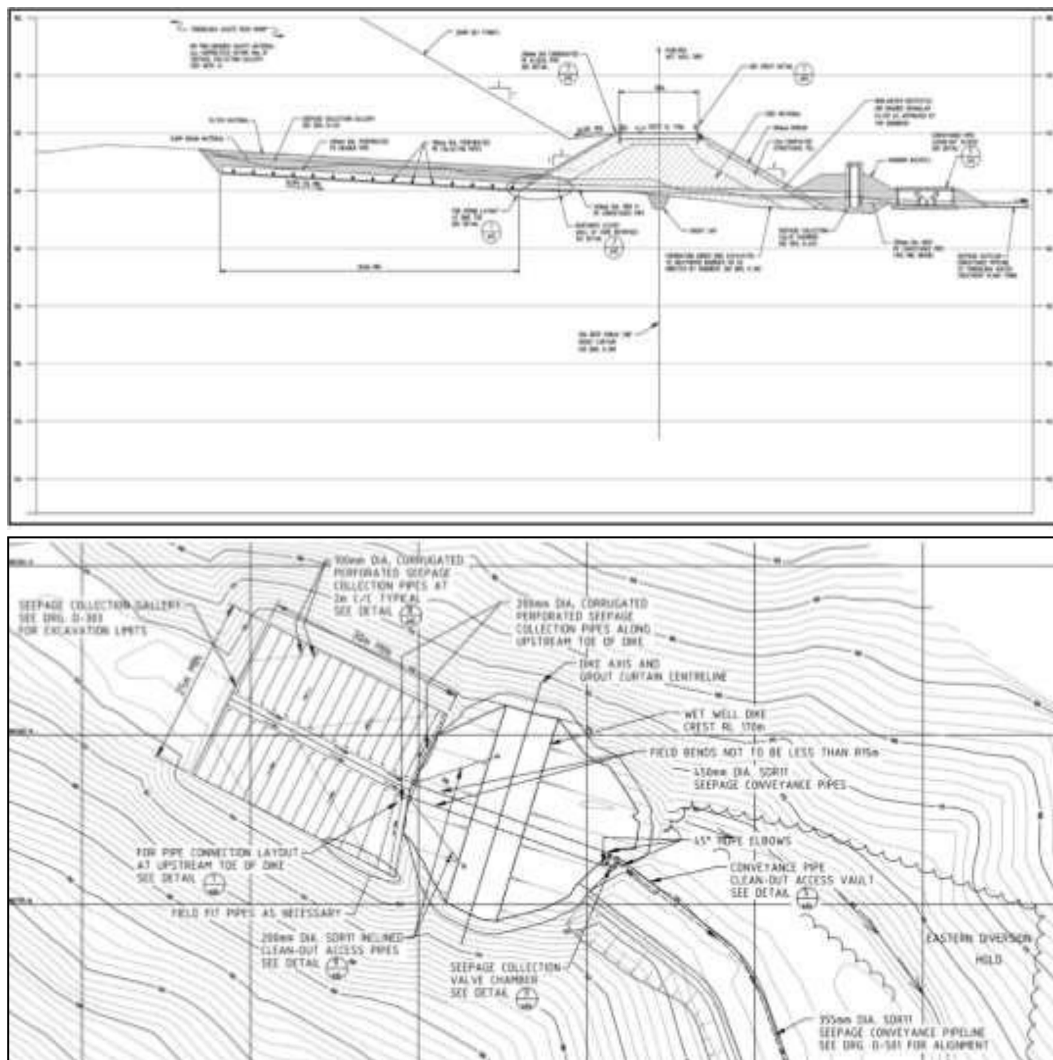


Figura 8: Sistema de recogida de filtraciones de la pila en construcción



Figura 9: Construcción del dique de pozos húmedos de la pila



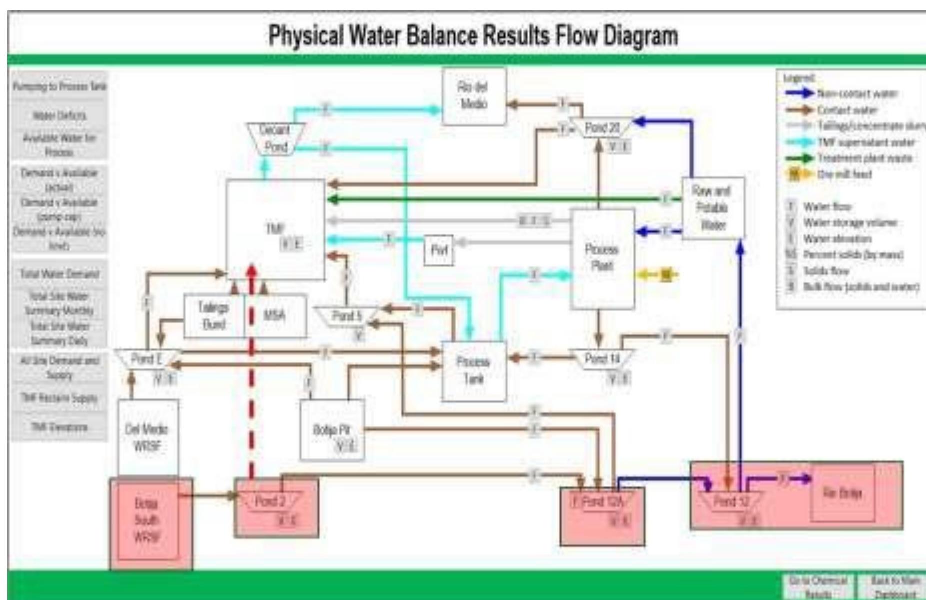
4.3. Gestión del agua de contacto

Como se detalla en la Sección 2 (arriba), el principal riesgo asociado con el acopio continuo de LGO en el flanco occidental del WRD de Botjia se relaciona con la capacidad limitada del sistema de manejo de agua de contacto existente para aislar las filtraciones de mala calidad de las estructuras del Estanque 12a y del Estanque 12. Esta limitación está asociada en gran medida al pequeño tamaño del estanque 2a, que si se tiene en cuenta la sedimentación tiene una capacidad de sólo unos 30.000 m3. El desbordamiento puede producirse en respuesta a los volúmenes de escorrentía generados durante periodos de sólo unas horas en caso de fallo de la bomba u otros trastornos operativos.

Para hacer frente a este riesgo, MPSA ha elaborado diseños provisionales para un estanque revestido de entre 350.000 y 400.000 m3 que sustituya al actual estanque 2a. Este rango de capacidad se aproxima al límite superior que podría construirse de forma realista sin invadir el borde del pozo de Botija. Se ha realizado una modelización con el modelo GoldSim del emplazamiento para evaluar hasta qué punto un estanque de esta capacidad podría mitigar eficazmente los riesgos de calidad del agua en los estanques

12a, 12 y la cuenca de Botija aguas abajo. La configuración del modelo se muestra en la figura 10. Se supone que el agua se bombearía desde el estanque 2a mejorado directamente a la TMF utilizando bombas con una capacidad nominal de 2.800 m3/h. En las simulaciones realizadas, se supone que este sistema entrará en funcionamiento a partir de enero de 2022. Para un periodo de cuatro años antes de esta fecha, el modelo se ejecutó utilizando entradas de precipitaciones probabilísticas con el estanque 2a suponiendo que estaba operativo con una capacidad de almacenamiento de 30.000 m3.

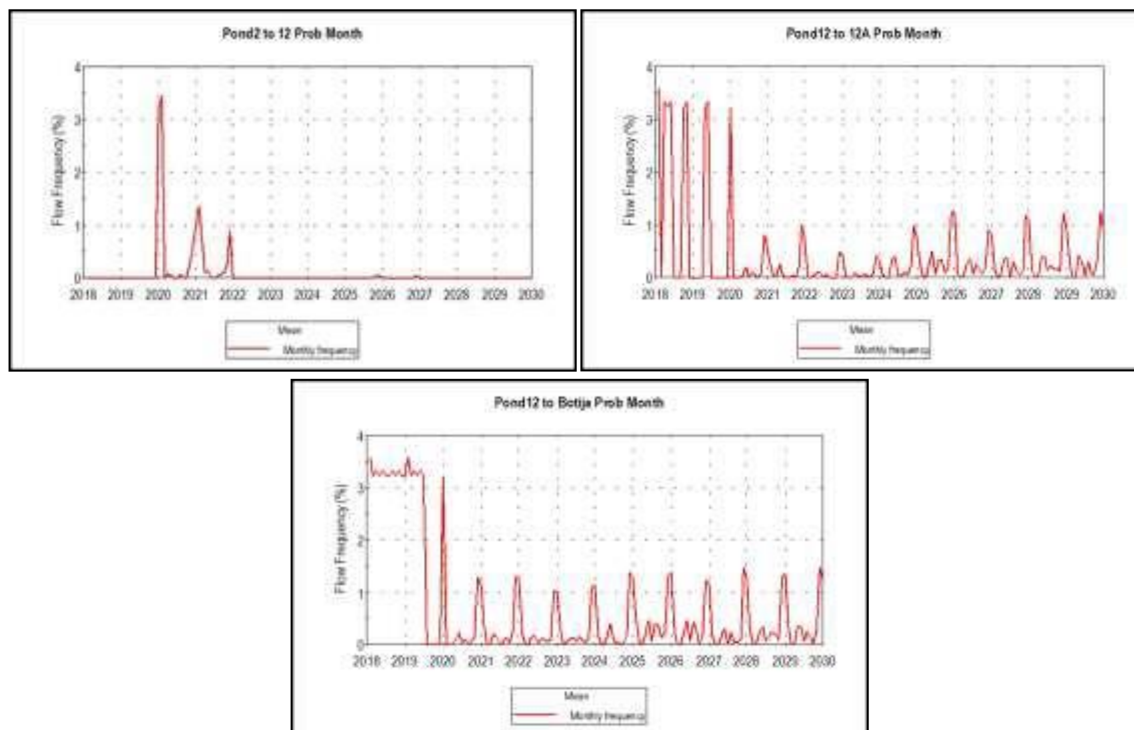
Figura 10: Configuración del modelo GoldSim para la evaluación del rendimiento del sistema de gestión del agua de contacto del estanque 2a actualizado



Los resultados de las simulaciones del modelo del balance hídrico del estanque 2a se muestran en la figura 11 en términos de la frecuencia de superación de la capacidad prevista mensualmente durante el período 2018-2030. En las condiciones operativas actuales (representadas a grandes rasgos por el periodo de simulación de 2020 y 2021) se prevé que la frecuencia de rebasamiento del estanque 2a al estanque 12a alcance hasta un 3,5% mensual aproximadamente. Esto equivale a una probabilidad de alrededor de 1 en 30. A partir de 2022, esto se reduce a una frecuencia de entre cero y 0,1% al mes, lo que significa la eliminación virtual de cualquier riesgo de transferencia de agua de mala calidad al estanque 12a como resultado de la puesta en marcha de una capacidad de estanque ampliada. Como se muestra en la figura 11, se prevé que después de 2022 el agua siga cayendo en cascada desde el estanque 12a al estanque 12, y también desde el estanque 12 al río Botija. Esto refleja el rendimiento relativamente grande de la escorrentía de la cuenca hacia estos estanques, que, en ausencia de una contribución del estanque 2a, no debería presentar ningún riesgo de incumplimiento de la calidad del agua.



Figura 11: Proyección del modelo GoldSim de la frecuencia de las transferencias de agua entre los estanques 2a, 12, 12a y el río Botija, suponiendo la mejora de la capacidad del estanque 2a en enero de 2022.



La eliminación virtual de la liberación de agua del estanque 2a al estanque 12 con efecto a partir de 2022, como se muestra en la figura 11, supone el bombeo del exceso de agua del estanque 2a a la TMF. La tasa de bombeo necesaria para mantener un inventario estable (normalmente cercano a cero) en el estanque 2a se ha predicho utilizando el modelo GoldSim, como se muestra en la figura 12. En el percentil 50 del rango probabilístico, las tasas de bombeo varían entre unos 800 y 1300 m3/h. Los índices máximos aumentan hasta unos 2000 m3/h en el percentil 95.

La figura 13 muestra algunas predicciones del modelo sobre la calidad del agua del estanque 2a. Estos resultados refuerzan la necesidad de aislar el agua del estanque 2a del sistema del estanque 12-12a en cualquier escenario en el que las reservas sigan expandiéndose. Sin embargo, tras la puesta en marcha de un estanque 2a ampliado, la carga de metales en el estanque 12a se reduce a casi cero, como se muestra en la figura 14..



Figura 12: Velocidad de bombeo prevista del estanque 2a a la TMF en el escenario de estanque ampliado

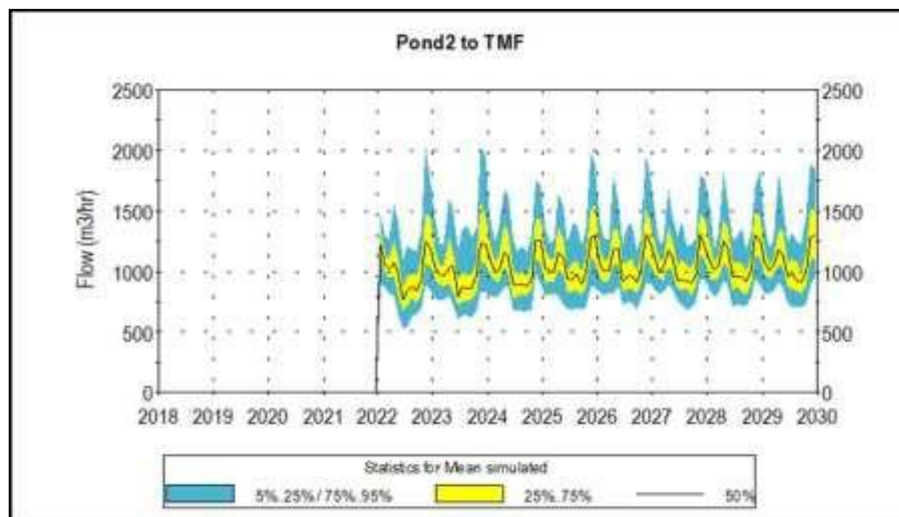


Figura 13: pH y concentraciones de Cu, Mn y Se previstos en el estanque 2a en el escenario de desarrollo continuado de las reservas de Botija

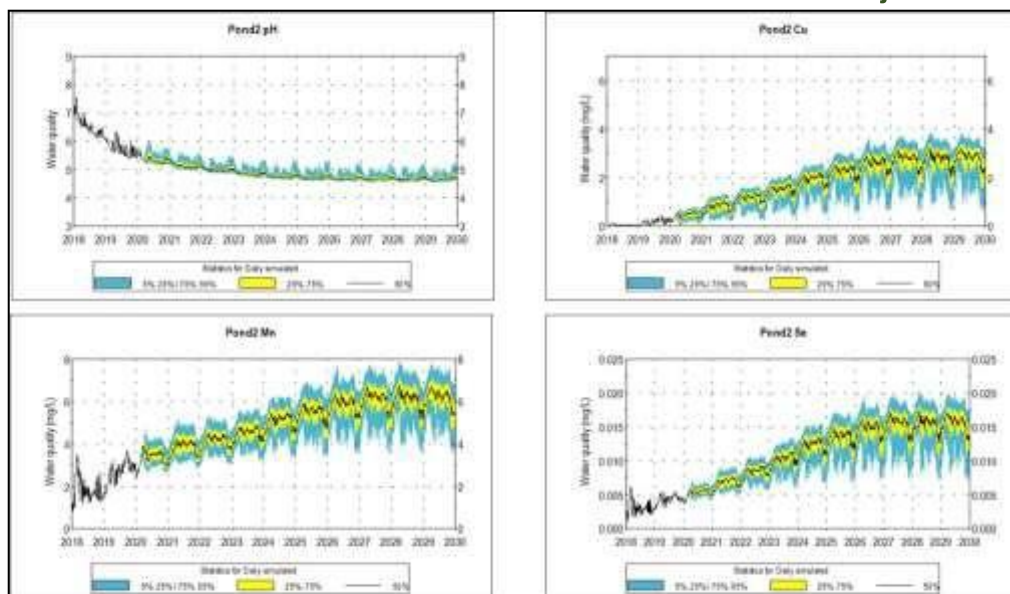
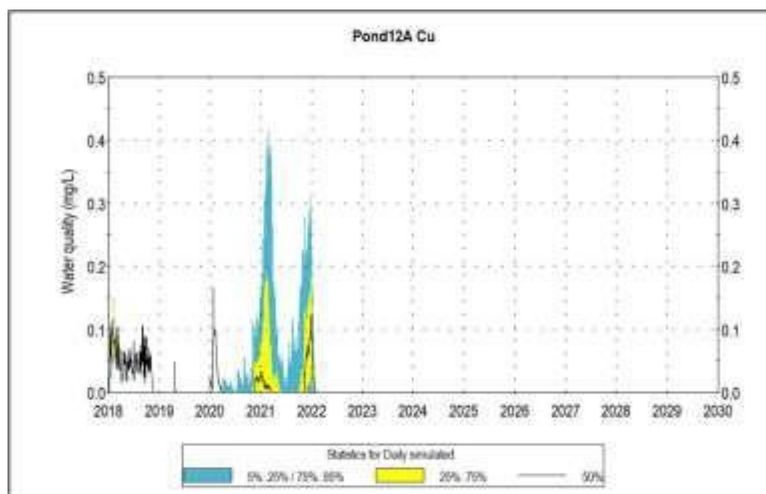


Figura 14: Concentración de cobre en el estanque 12a antes y después de la puesta en marcha del estanque 2a ampliado.



Se ha realizado una modelización del impacto en la calidad de la TMF del bombeo del exceso de agua del estanque 2a a la TMF bajo el concepto de gestión del agua de contacto de Botija actualizado. Si se simula sobre la base de una simple carga de masa química, se predice que la afluencia de agua del estanque 2a a la TMF a las tasas previstas en la figura 12 (arriba) producirá un aumento de la concentración de SO4 y de la mayoría de los metales del orden de sólo un 2%. Las excepciones son el Mn y el Cd, para los que se prevén concentraciones incrementales del 35% y el 80%. Sin embargo, estas proyecciones no tienen en cuenta los controles de solubilidad de los minerales, que pueden ser importantes en las aguas alcalinas de la FTM. Está previsto perfeccionar estas predicciones mediante un código de modelo geoquímico termodinámico a medida que avance el diseño del sistema de gestión del agua.

4.4. Rehabilitación progresiva

Resumen

El objetivo fundamental de la rehabilitación progresiva del depósito de Botija será reducir la infiltración neta en toda la huella de la instalación en la mayor medida posible. La maximización del beneficio dependerá de la definición de un programa de colocación de rocas que permita que sectores discretos del área de acopio alcancen su elevación final tan pronto como sea posible en la vida de la instalación, facilitando así la rehabilitación de la superficie sin la perturbación posterior.

Se entiende que el Plan de Gestión Ambiental (PGA) de Cobre Panamá incluye especificaciones para los diseños de cobertura que deben aplicarse al WRD y, por extensión, a las áreas de acopio al cierre. A diferencia del WRD, en el que la roca se coloca con la expectativa de un almacenamiento permanente in situ, existe la posibilidad de volver a manipular el LGO almacenado durante el final de la vida de la mina. Por lo tanto, lo ideal es aplicar una especificación de cobertura que sea menos compleja e incurra en un menor coste por unidad de superficie que la aplicable a un escenario de rehabilitación de instalaciones permanentes. La viabilidad de esto vendrá determinada en gran medida por la consecución de un equilibrio entre la especificación del diseño y la eficiencia del rendimiento.

Análisis del diseño de la cubierta.

Para apoyar la selección de un diseño de cubierta que sea rentable y que al mismo tiempo garantice un nivel aceptable de control de la infiltración en la rehabilitación progresiva del depósito de Botija, se realizó la modelización de una serie de configuraciones alternativas utilizando el código de simulación de flujo no saturado SEEP/W. Los principales objetivos de este ejercicio fueron:

a) Estimar el potencial de infiltración desde el vertedero y la pila de Botija Sur y su transmisión a los estanques 2/2A en las condiciones actuales (sin rehabilitar

b) Utilizar el modelo de flujo no saturado para evaluar la eficacia de los medios de cobertura natural de espesor variable para la reducción de la infiltración neta y la consiguiente promoción de la escorrentía superficial. En el entorno de Cobre Panamá, el medio de cobertura considerado apropiado para su incorporación en todos los escenarios fue la saprolita. Se realizaron modelos para evaluar el rendimiento de las cubiertas de saprolita en espesores que oscilaban entre 1 y 3 m. El límite superior de este rango corresponde a las especificaciones para la colocación de la cubierta final que se indican en el PEM de Cobre Panamá. También coincide ampliamente con el inventario máximo de saprolita que estaría disponible para su uso de acuerdo con el balance de materiales de la mina para el período 2021 a 2024.

La modelización numérica se realizó utilizando un formato de columna 1D. Las tasas de infiltración desde la base de la columna bajo cada escenario alternativo fueron modeladas como una función de las propiedades hidráulicas de la cubierta y/o de la masa rocosa subyacente y de la tasa de infiltración efectiva en la superficie de la columna. Las propiedades hidráulicas se calculan en el modelo en función de la granulometría y la saturación relativa.

Todas las simulaciones se realizaron utilizando el modelo numérico de flujo no saturado SEEP/W (GeoStudio 2020) que es un modelo de elementos finitos configurado para resolver las ecuaciones de Richards para el flujo en medios porosos con saturación variable. Se utilizaron las siguientes propiedades clave como entradas del modelo:

- Curvas de retención de humedad del suelo o de succión: que expresan la relación entre la presión de los poros y el contenido de agua de un material determinado, regida por la distribución granulométrica, el volumen de huecos y la succión de la matriz.
- Conductividad hidráulica (K): que se refiere a la capacidad del material para conducir el agua en condiciones de saturación variable. La máxima conductividad hidráulica de un suelo o roca se obtiene bajo saturación y disminuye de acuerdo con la curva de succión, a medida que el contenido de agua cae por debajo de la saturación.

Se utilizaron datos específicos del sitio para representar las propiedades hidráulicas del material competente actualmente depositado en el DAR y el acopio de Botija. Las curvas características de contenido de agua (VWCC) se obtuvieron a partir del análisis granulométrico de nueve muestras recogidas en el vertedero en julio de 2019 (Figura 15). Para el saprolito los datos de distribución granulométrica reportados por AMEC (2010) indican una composición de grano muy fino (arcilla poco plástica a arena limosa) con una alta humedad (del 35% en promedio). Las curvas de distribución granulométrica se muestran en la Figura 16.

Figura 15: Distribución granulométrica del vertedero de Botija.

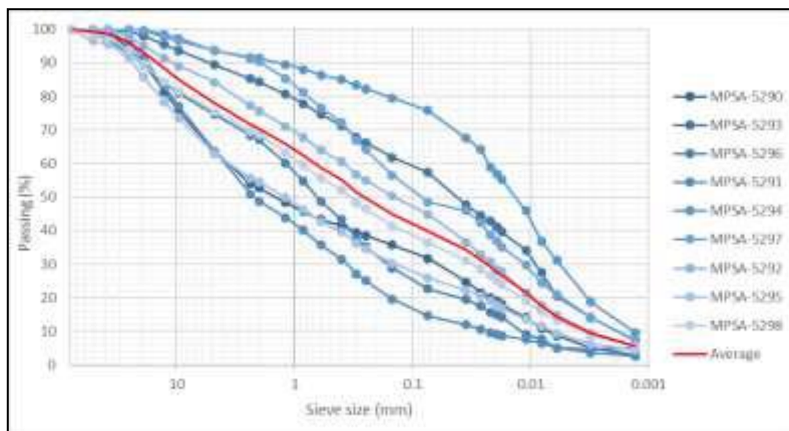
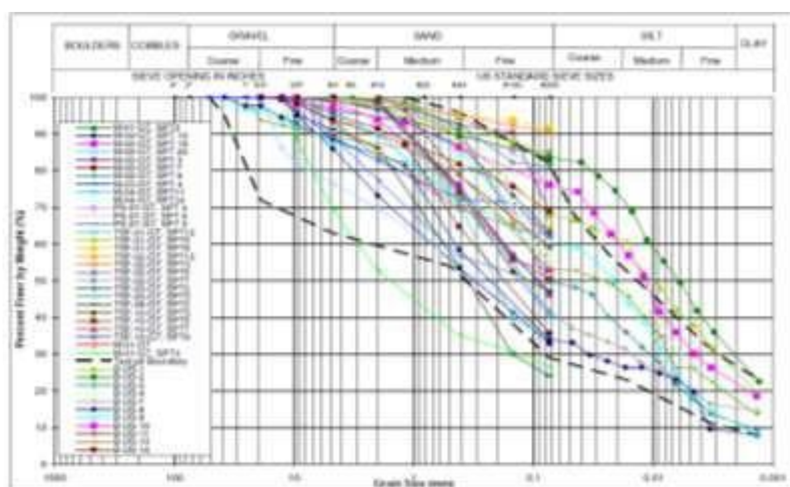


Figura 16: Distribución granulométrica para la saprolita (AMEC, 2010)



.

Las propiedades hidraulicas asignadas en el modelo 1D se resumen como sigue:

- La roca estéril y el material de acopio se caracterizan por una baja capacidad de retención debido a una gran distribución granulométrica. El contenido volumétrico de agua saturada se asumió como equivalente al 35%. Se asignó a la roca estéril una conductividad hidráulica con un valor medio de 5x10-7 m/s.
- La saprolita se caracteriza por una mayor capacidad de retención debido a su alto contenido en arcilla limosa. El contenido volumétrico de agua saturada se supuso equivalente al 30%. La matriz de material fino produce una baja conductividad hidráulica vertical con un valor medio de 5x10-8 m/s asignado.

La condición de contorno en la parte superior de las columnas del modelo 1D se estableció como una Interfaz Tierra-Climatismo (LCI). En este límite se aplicaron los valores diarios de precipitación y evaporación de la Estación Meteorológica Automática (AWS) de Botija Laydown. Se disponía de datos específicos del lugar para el período de octubre de 2018 a 2020. La PAM a largo plazo se calculó en 4319 mm/año, mientras que la evaporación de la bandeja se estimó en 1409 mm/año. La tasa de evaporación real se calculó en cada paso de tiempo utilizando la relación propuesta por Wilson y otros. (1997).

La filtración se simuló en la base de la columna del modelo utilizando una condición de contorno de gradiente unitario. Esta condición de contorno fue adaptada para la modelación de un sistema no saturado, permitiendo calcular el flujo de salida en cada paso de tiempo sin requerir la saturación de la columna. El modelo aplicó datos de entrada de precipitación y evapotranspiración potencial para un período de 10 años, ya que esto minimiza el efecto de las condiciones iniciales y los eventos extremos que podrían influir fuertemente en la tasa de recarga simulada durante un corto período de evaluación.

Los resultados de la modelización de la configuración del caso base coinciden con las observaciones de campo, que sugieren que las tasas de infiltración en las superficies de roca estéril y acopio de Botija son altas y que las respuestas de infiltración a las precipitaciones son relativamente rápidas. Para una superficie no rehabilitada, la tasa de infiltración total prevista para la huella del WRD más el acopio es, según el SEEP/W, del orden de 220 L/s. Esto corresponde a alrededor del 72% de la precipitación incidente. En todos los escenarios en los que se coloca una cubierta de saprolita sobre el acopio, la capacidad de infiltración en la superficie se reduce hasta el punto de que aproximadamente el 78% de la precipitación se vierte como escorrentía superficial.

La modelización de los efectos sobre la infiltración neta de los espesores variables de la cubierta de saprolita sugiere que se producen diferencias estrictamente limitadas de la tasa de infiltración a través de los rangos de espesor de 1 a 3 m. A un Ksat de $5{,}1 \times 10^{-8}$ m/s se predice que la infiltración neta a través de la cubierta a espesores de 1, 2 y 3 m de saprolita es del 18% del PAM. Esto se reduce al 4% con un Ksat de saprolito de $1{,}1 \times 10^{-8}$ m/s (ver Tabla 3). Los resúmenes del balance hídrico de las simulaciones SEEP/W de cada una de estas alternativas de cobertura se presentan en la Figura 17. En base a estos resultados, se recomienda que para la rehabilitación progresiva de la escombrera de Botija una cubierta de saprolita de 1 m ofrecería la mejor relación coste-beneficio de las alternativas consideradas.

.

Tabla 3: Resumen de la predicción del SEEP/W de la infiltración neta para espesores de cubierta alternativos.

	(% MAP)		(l/s)			
	Net percolation	Runoff	Net percolation Stockpile	Net percolation Botija Dump	Runoff Stockpile	Runoff Botija Dump
1 Bare waste	72%	25%	84	137	29	48
2 1m - Saprolite cover ($5.10x^{-8}$ m/s)	18%	78%	21	34	90	148
3 2m - Saprolite cover ($5.10x^{-8}$ m/s)	18%	78%	21	34	90	148
4 3m - Saprolite cover ($5.10x^{-8}$ m/s)	18%	78%	21	34	90	148
5 1m - Compacted saprolite cover ($1.10x^{-8}$ m/s)	4%	93%	5	8	108	177
6 2m - Compacted saprolite cover ($1.10x^{-8}$ m/s)	4%	93%	5	8	108	177
7 3m - Compacted saprolite cover ($1.10x^{-8}$ m/s)	4%	93%	5	8	108	177

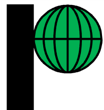
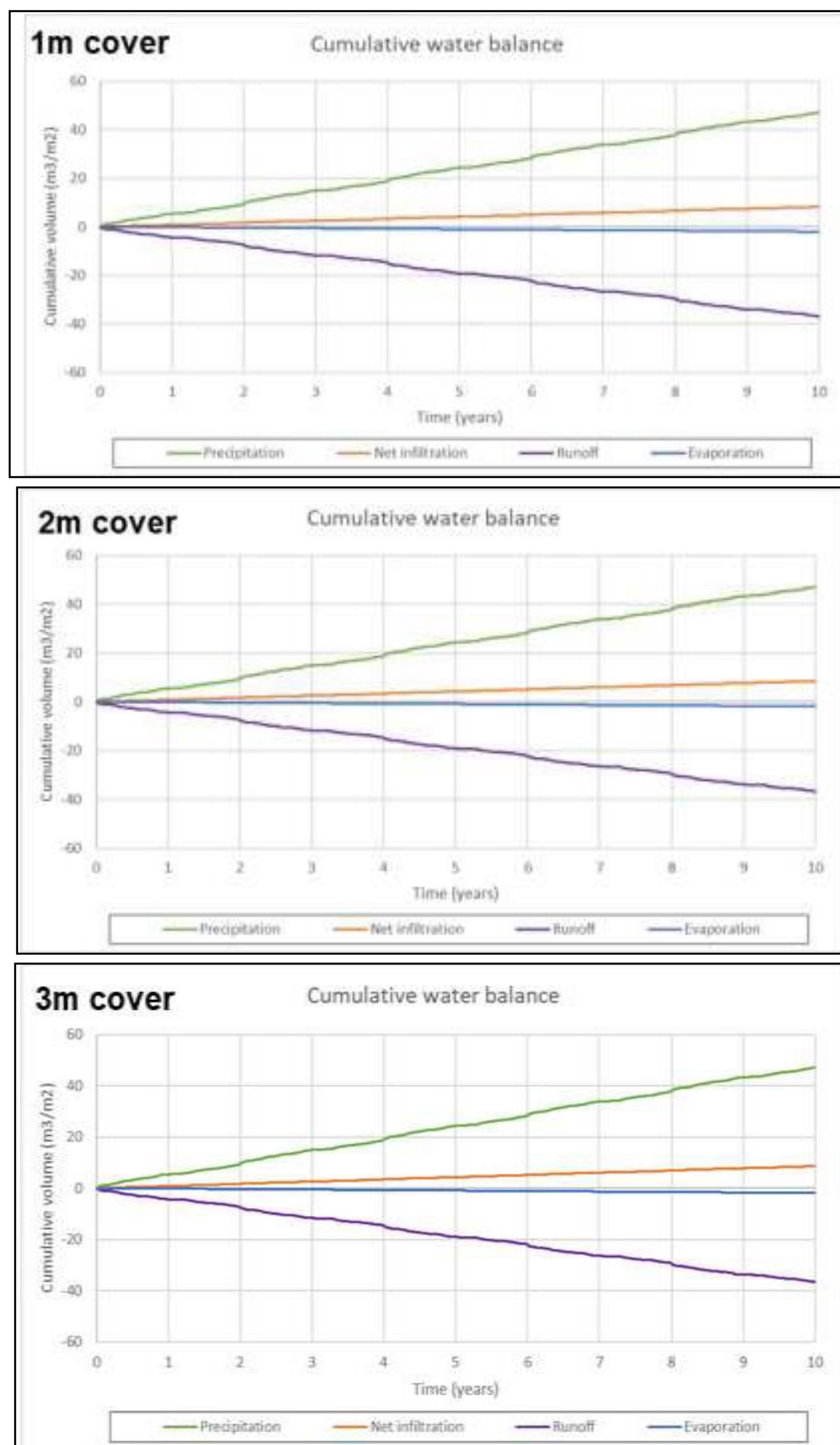


Figura 17: Balance hídrico superficial para el escenario que considera el encapsulamiento con saprolita (1m, 2m, 3m).



5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Este memorándum se ha preparado en nombre de MPSA para proporcionar orientación con respecto al almacenamiento de LGO durante el período restante de explotación del pozo Botija. Las principales conclusiones extraídas del conjunto de evaluaciones realizadas hasta la fecha son las siguientes:

1) La ubicación actual del depósito de Botija presenta desafíos con respecto a la gestión del agua de contacto. Sin embargo, ofrece la ubicación más viable para continuar con el almacenamiento, dadas las demandas competitivas que existen para el área de tierra en la cuenca adyacente del Río del Medio.
2) En ausencia de intervenciones apropiadas para la gestión del agua de contacto de las existencias, podría existir un riesgo significativo de degradación de la calidad del agua en la zona baja de las existencias de Botija y del WRD, hasta el punto de que cualquier vertido al río Botija a través del estanque 12 podría no cumplir con la normativa. Este riesgo es particularmente evidente con respecto a las concentraciones de Cu.
3) La continuación de la expansión de las reservas de Botija debería ir acompañada de tres conjuntos principales de medidas de mitigación que comprenden:
    a. Mejora de la interceptación del drenaje inferior para la zona norte de la huella del acopio, incluyendo potencialmente un sistema de dique de pozo húmedo.
    b. Construcción de un estanque 2a ampliado para la recogida de agua de contacto, desde donde se bombeará el agua directamente a la TMF para mantener el francobordo. Este estanque se dimensionará provisionalmente en 400.000 m3.
    c. Rehabilitación progresiva de la superficie de las pilas al mismo tiempo que las operaciones, utilizando un medio de cobertura de saprolita de 1 m para el control de la infiltración.
4) La modelización del rendimiento de las intervenciones anteriores sugiere que los riesgos de incumplimiento de la calidad del agua en la cuenca de Botija deberían eliminarse efectivamente. Se prevé que los impactos de la conducción del agua de contacto directamente a la TMF sean insignificantes en cuanto a la calidad de la balsa sobrenadante.